

# Über die Erfahrungen mit der Alkoholäthermethode für die Konservierung von Nassholz am Schweizerischen Landesmuseum

Autor(en): **Kramer, W. / Mühlethaler, B.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Zeitschrift für schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte = Revue suisse d'art et d'archéologie = Rivista svizzera d'arte e d'archeologia = Journal of Swiss archeology and art history**

Band (Jahr): **25 (1968)**

Heft 2

PDF erstellt am: **15.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-165204>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Über die Erfahrungen mit der Alkoholäthermethode für die Konservierung von Nassholz am Schweizerischen Landesmuseum

Von W. KRAMER und B. MÜHLETHALER

(Tafeln 38–48)

## A. <sup>†</sup>Einleitung

Im Laufe der archäologischen Tätigkeit des Landesmuseums tauchten immer wieder steinzeitliche Holzfunde auf, die das Problem ihrer Konservierung stellten. Versuche wurden mit verschiedenen Methoden gemacht. Seit 1950 führt das Landesmuseum regelmässig Ausgrabungen von steinzeitlichen Ufersiedlungen im Wauwiler Moos durch. Die zahlreichen und vielfältigen Holzfunde stellten die Konservierungswerkstätten vor die Aufgabe, neue Einrichtungen für die Konservierung zu schaffen. Die Art der Gegenstände, ihr frisches, natürliches Aussehen beim Zutreten und der meist gute Erhaltungszustand des Holzes veranlassten Prof. Dr. E. Vogt, den damaligen Leiter der Prähistorischen Abteilung des Landesmuseums, nach einer Konservierungsmethode zu suchen, welche die dauernde Erhaltung dieses Zustandes gewährleisten sollte. Die gesuchte Methode sollte in erster Linie die Erhaltung der Form und des natürlichen Aussehens und daneben eine genügende Stabilität für die vorsichtige Handhabung der Gegenstände liefern.

Die damals bekannten Methoden [1–5] erfüllten die beiden erstgenannten Forderungen kaum annähernd. Die Alaunmethode lieferte wohl ausserordentlich harte Hölzer, gab ihnen aber ein unnatürliches Aussehen, ähnlich demjenigen des in der Natur vorkommenden versteinerten Holzes. Überdies entwickelten sich nachträglich oberflächenzerstörende Ausblühungen. Die Behandlung mit Leinöl machte die Gegenstände dunkel und speckig. Dass auch andernorts nach Verbesserungen gesucht wurde, erfuhr Prof. Vogt anlässlich eines Besuches im Dänischen Nationalmuseum in Kopenhagen im Jahre 1948. Die von B. Brorson-Christensen dort begonnenen Arbeiten waren richtungweisend für den im Schweizerischen Landesmuseum beschrittenen Weg. Das ausgearbeitete Verfahren, das sich seither – nach einigen Anpassungen an neuere Erkenntnisse – sehr gut bewährt hat, beginnt mit der möglichst vollkommenen Entfernung der während der Bodenlagerung eingewanderten Fremdstoffe. Sie dunkeln im Kontakt mit dem Tageslicht und dem Luftsauerstoff stark nach und erschweren den Austausch von Wasser mit Konservierungsmitteln. Anschliessend wird das Wasser durch Alkohol und dieser in einer nächsten Stufe durch Äther ersetzt. In einer letzten Stufe wird das Konservierungsmittel, Damarharz, gelöst in Äther, eingeführt, worauf der Äther im Vakuum entfernt wird.

Äther ist ein hochexplosiver Stoff; es versteht sich daher von selbst, dass bei der Ausarbeitung der Methode und der heute definitiven Einrichtungen sämtliche möglichen Gefahrenquellen eingerechnet und kostspielige Sicherheitsmassnahmen getroffen wurden. Um die Gefahren, die in der menschlichen Unzulänglichkeit liegen, möglichst klein zu halten, darf die Arbeit mit diesem Verfahren nur einem kundigen, sorgfältigen und zuverlässigen Konservierungstechniker anvertraut werden.

### B. Die Arbeiten von Brorson-Christensen

In einer Publikation [6] über die Konservierung von Holzfunden aus Torfmooren, 1951 erschienen, hat Brorson-Christensen darauf hingewiesen, dass die bis dahin bekannten Konservierungsmethoden nicht befriedigten. In der Absicht, einen Schritt weiterzukommen, hat er die ganze damalige Literatur durchgearbeitet und dazu durch eigene Versuche – in Anlehnung an die mikroskopische Technik der Holzpräparation – festgestellt, dass Form und Volumen kleiner Nassholzobjekte sich ganz verschieden ändern, wenn die Stücke aus Wasser, Alkohol, Azeton, Chloroform, Xylol, Benzol, Äther trocknen. Die prozentuale Form- und Volumenänderung nahm bei irgendeiner dieser Flüssigkeiten ab, je langsamer die Trocknung vor sich ging. Die Verdunstungsgeschwindigkeit dieser Flüssigkeiten genügte jedoch nicht, um die Schwunderscheinungen zu erklären. Die Oberflächenspannung und das spezifische Gewicht haben ihren Anteil daran; sind beide niedrig, ist es der Schwund ebenfalls. Brorson-Christensen hat erkannt, dass diese beiden Faktoren in Verbindung mit den besonderen Eigenschaften des Holzgewebes beim Verdunsten einer Flüssigkeit aus dem Holz zur Entwicklung starker Kapillaranziehungskräfte führen. In erster Näherung schien sich ein proportionaler Zusammenhang zwischen dem Schwund und einer hier als Kapillaritätskonstante bezeichneten Grösse zu ergeben. Auf Grund seiner Beobachtungen widerlegte Brorson-Christensen die bisher geltende Erklärung, mit Wasser vollgesogenes Holz sei im wasserfreien Zustand ausserstande, sich selbst zu tragen und müsse beim Trocknen zusammenfallen. Wenn sich Abweichungen an bei den von ihm untersuchten Hölzern (Hasel, Erle, Ulme, Birke, Tanne) zeigten, vermutete der Autor die Ursache in den Unterschieden der chemischen Zusammensetzung der Hölzer und dem verschiedenen Grad der Alterung.

Ausgehend von der mikroskopischen Technik der Paraffineinbettung, die schon G. Rosenberg u. a. Autoren erwähnt haben, hat Brorson-Christensen eine modifizierte Methode mit gutem Erfolg an Stücken bis zu 50 cm Länge erprobt. Zunächst wurden die Stücke in einer Folge von Alkoholbädern entwässert, anschliessend der Alkohol durch Toluol ersetzt, zum Toluolbad ein Gemisch aus Bienenwachs, Karnaubawachs, Paraffin und Damarharz gegeben und das Ganze bis zum Verschwinden des Toluols bei 115°C gehalten.

Die Stücke hatten nach dem Herausnehmen und Abkühlen ein einheitlich dunkles Aussehen und verlangten eine Nachbehandlung zur Entfernung des überschüssigen Wachses. Zuletzt wurden sie mit einer Methylakrylatlösung in Azeton gefirniss. Das Ausbleiben eines Schwundes nach dem Trocknen in Alkohol nahm der Autor als Ausgangspunkt für einen neu einzuschlagenden Weg: er brachte die Objekte nach der Lagerung in Wasser in die fünffache Menge Alkohol (bezogen auf das Objektvolumen) von wenigstens 95%.

Nach zwei- bis dreimaligem Wechsel wurde der Alkohol durch Äther ersetzt; nach ein- bis zweimaliger Erneuerung des Äthers wurden die Objekte möglichst rasch – vorzugsweise im Vakuum – getrocknet. Dies gelang meist ohne Schwund, Verwerfungen und radiale Risse. Solche traten bei ganzen den Kern umfassenden Stammabschnitten jedoch gerne auf; durch Abdecken der Oberfläche mit Stanniol konnte das Auftreten dieses Phänomens indessen vermindert werden.

Die so getrockneten Stücke behielten ihre ursprünglichen Dimensionen, bis sie (infolge der Hygroskopizität der Holzsubstanz) – Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft aufnahmen und dann – wie der Autor schreibt – durch Kapillaranziehungskräfte nachträglich schwanden oder rissen. Durch Behandlung mit 3prozentiger Polyvinylazetatlösung in Reinbenzol und raschmöglichstes Vakuumtrocknen wurde eine Stabilisierung versucht und schliesslich das ganze mit 10prozentiger Lösung von Damarharz in Benzin imprägniert.

Wegen des gefährlichen Äthers hat Brorson-Christensen die Alkoholäthermethode wieder verlassen und das in seiner Publikation von 1956 [7] beschriebene Gefriertrocknungsverfahren mit Tertiärbutylalkohol ausgearbeitet.

Nach wenigen Jahren kehrte er wieder zur ursprünglichen Alkoholäthermethode zurück, die er seither mit einigen Modifikationen für empfindliche und kleine erstklassige Objekte mit bestem Er-

folg anwendet. Für alle andern, insbesondere die grossen Objekte, verwendet er das Polyäthylenglykolverfahren. Eine ausführliche Publikation über seine neueren Arbeiten steht bevor.

Die von Brorson/Christensen behandelten Hölzer stammen meist aus sauren Hochmooren.

### C. Die Arbeiten des Schweizerischen Landesmuseums

1952 wurde im Prähistorischen Laboratorium auf Veranlassung von Prof. Dr. E. Vogt von Herrn W. Kramer mit der Konservierung der Nassholzfunde aus der Station Egolzwil, Luzern, begonnen.

Das gestellte Ziel sollte eine Methode sein, mit der nasse Holzfunde zunächst nach Form und Volumen in trockenem Zustand erhalten werden können. Besonders wichtig sollte aber auch die Erreichung einer optimalen Oberfläche nach Struktur und Farbe sein. Das möglichst natürliche Aussehen der Gegenstände (besonders gegenüber porenfüllenden, andersfarbigen Substanzen) wird vom Schweizerischen Landesmuseum als wichtiger denn besondere Härte des konservierten Holzes angesehen. Von Anfang an wurden zweckmässige Einrichtungen, wie ein Vakuumtrockenofen, beschafft und Versuche unternommen, um die bei der Lagerung im Wasser durch den gelösten Sauerstoff und das Tageslicht stark nachdunkelnden Hölzer aufzuhellen und so ein differenziertes, natürliches Aussehen der verschiedenen Holzarten zu gewinnen. Dazu wurden die Hölzer in wässrigem Ammoniak von etwa 0,1% und einem Zusatz von etwa 0,05–0,12% Wasserstoffperoxyd behandelt bis zum Verschwinden der Dunkelfärbung des Bades, dann gründlich gewässert, bevor sie in die Alkoholstufe traten. Für die endgültige Konservierung wurden die Hölzer jedoch nach der Ätherstufe nicht getrocknet, sondern im ätherfeuchten Zustand in eine Lösung von Damarharz eingelegt und danach im Vakuum getrocknet. Das verbliebene Damarharz genügte in manchen Fällen nicht, um feine spätere Schwundrisse zu vermeiden. Versuche mit Zusätzen von trocknenden Ölen und Kolophonium führten schliesslich zu der heute verwendeten Komposition von Damarharz, Kolophonium, Standöl und geblasenem Rizinusöl als Weichmacher, alles in Äther gelöst. Die Objekte erhalten nach dem Zusammenfügen mittels Polyvinylazetatkorkmehlkiten eine schützende Oberflächenbehandlung.

#### Beschreibung der Methode

Die besten Ergebnisse wurden in folgendem Arbeitsgang erzielt:

1. Genaues Festhalten des Fundzustandes durch Photographie, Zeichnung, Messen und Wägen, damit Veränderungen während der Behandlung und später genau ermittelt werden können. Eine genau und während Jahren geführte Statistik erlaubt, festzustellen, ob durch die verschiedenen Modifikationen der Methode Veränderungen im Verhalten eintreten und ob die Möglichkeiten der Methode voll ausgeschöpft werden.

2. Falls nicht besondere Verunreinigungen vorhanden sind (Eisenoxyde, wachs-, fettartige Substanzen und Faulschlammimprägnationen), werden die Stücke in einem Reinigungsbad mit 4 cm<sup>3</sup> konzentriertem Ammoniak und 4 cm<sup>3</sup> 30prozentigem Wasserstoffsuperoxyd pro Liter Wasser, eingelegt. Die Lösung wird nach Bedarf erneuert. Damit wird einmal die bestmögliche Entfernung der eingewanderten Fremdstoffe erstrebt und dabei gleichzeitig folgendes erreicht: Die Objekte aus den schweizerischen Seeufersiedlungen weisen beim Zutagetreten meist eine als natürlich empfundene, helle Färbung in der arteiligen Differenzierung auf. Bei der unvermeidlichen Berührung mit der Luft – auch während der Wasserlagerung genügt der gelöste Sauerstoff dafür – tritt durch Oxydationsvorgänge eine Dunkelfärbung ein, die den Fundzustand völlig verändert. Durch die oxydative Bleichung der Färbestoffe werden diese zugleich löslich, und können durch Auswaschen entfernt werden. Der Endpunkt der Behandlung wird aus der Erfahrung des Präparators beurteilt.

3. Gründliches Auswaschen der Reste der Reinigungslösung mit den gelösten Verunreinigungen mit Wasser. Durch Einlegen in Äthylalkohol (Alcohol absol. denat.) wird dem Holz sukzessive das Wasser entzogen. Abweichend von der mikroskopischen Technik, wo mit niedrigen Alkoholgraden begonnen wird, genügt es hier, mit 70–90prozentigen Alkoholkonzentrationen zu beginnen. Nach dem Ermessen des Präparators wird dem ersten Alkoholbad gelegentlich noch etwas Wasserstoffperoxyd beigegeben. Die Verweilzeit ist jeweils abhängig vom Volumen der Stücke und ihrem mittleren Durchmesser (s. Abschnitt D). Sie beträgt einige Tage bis einige Wo-

chen. Der Austauschvorgang zwischen Wasser und Alkohol wird einfach durch Dichtemessungen mit dem Aräometer verfolgt, wobei für genaue Messungen auf konstante Messtemperatur geachtet werden muss. In der Regel sind insgesamt 4–6 Wechsel der Bäder nötig, bis die Dichte des ursprünglich verwendeten absoluten Alkohols erreicht wird und über längere Zeit konstant bleibt.

4. In der nächsten Phase wird der Alkohol durch Äther im Badverfahren ausgetauscht. Die Badgefäße sind meist aus Aluminiumlegierung und zuverlässig geerdet. Die Verweilzeiten im Ätherbad sind kürzer. Der Austauschvorgang wird hier durch Beobachtung der Löslichkeitsabnahme eines alkohollöslichen Farbstoffes bei zunehmendem Äthergehalt kontrolliert. Es wird alkohollösliches Rhodamin B verwendet, das in absolutem Äther unlöslich ist. Der Vergleich erfolgt kolorimetrisch mit einer künstlichen Verdünnungsreihe. Wird nach 5 Minuten Beobachtungszeit keine Rosafärbung mehr festgestellt, ist der Austausch vollständig.

5. Die Objekte kommen nun in eine Ätherharzlösung und bleiben so lange darin, bis die Kontrolle des Festkörpergehalts der Badlösung zeigt, dass die Ätherharzlösung das Holz gleichmässig durchdrungen hat. Die Gefäße werden zu diesem Zweck mit passenden Glasplatten abgedeckt und die Fugen mit Gummimilch gedichtet. Eine verschliessbare Bohrung in der Glasplatte erlaubt die Entnahme von Flüssigkeitsproben. Die Harzlösung wird mehrfach für andere Portionen von Holz verwendet, bis ihr Festkörpergehalt durch Verdünnung mit dem Äther aus dem Holz eine untere, durch Erfahrung beurteilte Grenze erreicht hat. Die Harzlösung hatte ursprünglich folgende Zusammensetzung: 500 g Dammarharz (wasserhelle Qualität), 250 g Kolophonium (Ph. H. V), 25 cm<sup>3</sup> nicht eingedicktes Zedernholzöl, 25 cm<sup>3</sup> Paraffinöl (Paraff. liq. Ph. H. V), am Rückfluss gelöst in 3000 cm<sup>3</sup> absol. Äther. Da die filmbildenden Eigenschaften bei dieser Zusammensetzung nicht besonders günstig waren, wurde sie 1958 wie folgt geändert: 500 g Dammarharz, 200 g Kolophonium, 20 cm<sup>3</sup> Rizinusöl geblasen, 4000 cP (Viskositätszahl), 20 cm<sup>3</sup> Zedernholzöl (wie oben), 20 cm<sup>3</sup> englischer Öllack (Standöl), gelöst in 3000 cm<sup>3</sup> Äther. 1959 hat sie Werner Kramer nochmals verbessert, indem die Anteile Rizinusöl geblasen, 4000 cP, und Standöl auf je 100 cm<sup>3</sup> erhöht und das Zedernholzöl weggelassen wurde und seither unverändert beibehalten.

6. Das Trocknen im Vakuum der harzimprägnierten Stücke bewirkt die restlose Entfernung des Äthers. In dem neuen Vakuumtank des LM kann der Druck innerhalb 30 Minuten auf etwa 0° Torr abgesenkt werden. Die Pumpe wird dann ausgeschaltet und der Druckanstieg infolge verzögerter Verdampfung von Lösungsmittelresten aus der Tiefe der Objekte beobachtet. Mehrfaches Abpumpen bis zur Konstanz des Vakuums ist erforderlich.

7. Die behandelten Holzgegenstände werden nun aufgearbeitet, zerbrochene zusammengefügt und mechanische Verletzungen ergänzt. Möglichst unmittelbar nach der Trocknung müssen die Objekte vom Überschuss des eingetrockneten Konservierungsmittels befreit werden, da der Anteil an trocknendem Öl seine Entfernung zu einem späteren Zeitpunkt erschweren würde. Überschüssiges Konservierungsmittel wird von der Oberfläche mit Methylchlorid gewegewaschen. Zerbrochene Stücke werden mit einem Alleskleber zusammengesetzt; wir verwenden dafür mit Erfolg Karlsons Klistier; er hat den Vorteil, dass er leicht vollständig mit Lösungsmitteln entfernt oder durch Anquellen mit Azeton erweicht werden kann, was kleine Korrekturen erlaubt. Für die Ergänzung der Verletzungen oder Fehlstellen hat W. Kramer eine Masse aus einem Dispersionskleber (Polyvinylacetat oder eines seiner Kopolymerisate), Felsengips und feinem Korkmehl erprobt. Spezifisches Gewicht, Festigkeit und Bearbeitbarkeit nach Anquellen mit Wasser, Quellverhalten (Hygroskopizität) sind den entsprechenden Eigenschaften des Holzes angeglichen. Die Masse wird nach Bedarf mit Pigmenten eingefärbt oder am Schluss mit löslichen Farbstoffen eingetönt. Als Dispersionskleber wird «Elotex» verwendet, das völlig reversibel ist.

8. Eine Schlussbehandlung mit einer Wachskomposition verleiht der Oberfläche einen zusätzlichen Schutz und gibt ihr ein frischeres Aussehen. Es wird dafür eine Komposition von Mikrowachsen mit niedrigem Erweichungspunkt und grosser Lichtbeständigkeit und Plastizität verwendet (3 Gewichtsteile TPW 143 und 1 Teil TPW 102). Die Mischung wird geschmolzen, mit dem Pinsel in dünner Schicht auf die Holzoberfläche aufgetragen, so dass sie nicht mehr als 1–2 mm tief eindringt. Nach dem Auftragen der Wachsschmelze erstarrt diese augenblicklich und wird meist mittels einer Infrarotlampe und in gewissen Fällen mit einer Heissluftpistole so weit verflüssigt, dass sie von der Holzoberfläche aufgesogen werden kann. Das Tauchverfahren wurde wegen der dabei entstehenden glasartigen optischen Wirkung bald wieder verlassen.

9. Die ergänzten Partien werden mit Pulverfarben, angerieben mit Sangajol, eingetönt; da mit der obenerwähnten Einfärbung der Ergänzungsmasse der richtige Farbton nur annähernd erreicht werden kann.

### *Modifikationen*

Die auf den Tafeln 38–48 gezeigten Beispiele wurden alle nach der beschriebenen Methode konserviert. Hingegen wurde in jüngster Zeit versucht, den zeitlichen Aufwand für die Methode zu

verringern. Dank besseren apparativen Einrichtungen scheint es möglich, die Behandlung im Alkohol durchwegs auf einige Tage zu reduzieren; auch die Ätherstufe lässt sich bei reduziertem Druck (etwa 300° Torr) verkürzen. Dagegen sind Versuche, die Harzimpregnierung im Vakuum zu beschleunigen, mit der Gefahr des lästigen Siedeverzugs verbunden. Bei der Zusammensetzung der Ätherharzlösung können selbstverständlich noch Verbesserungen versucht werden.

Ob sich das zeitlich abgekürzte Verfahren auf die Dauer bewährt, müssen Beobachtungen an den erst vor kurzem behandelten Objekten zeigen. Der Erfolg hängt jedenfalls sehr vom jeweiligen Erhaltungszustand und der Art des Holzes ab.

#### *Kritische Zusammenfassung*

Die Ergebnisse, die bisher mit der Äthermethode erzielt wurden, sind beim grössten Teil der behandelten Kleingegenstände (Geräte) ausgezeichnet, insbesondere bei solchen aus nicht dauerhaften Laubhölzern wie Esche, Ulme, Ahorn, Linde, Rotbuche und dem Splintholz von Eiche.

Weniger günstig ist die Äthermethode bei der Anwendung auf Nadelhölzer, insbesondere Eibe und Weisstanne.

Ein grösseres Objekt, eine geschnitzte Holzskulptur von 120 cm Länge und einer Dicke von 3–22 cm aus Lindenholz, das im Schweiz. Landesmuseum konserviert wurde, hat sich ausgezeichnet gehalten, ebenso eine Standplatte (Fleckling) von Station Sumpf (Cham ZG) sowie eine Bootspitze von Seegräben ZH. Sofern die Gegenstände keinen starken Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen ausgesetzt wurden, zeigten sich in den wenigsten Fällen nachträglich Rissbildungen quer zur Faser oder Deformationen. Geringer Schwund in allen drei Richtungen lässt sich auch bei unserem Verfahren nicht vermeiden. Das Trocknungs- und Schwindungsverhalten des Nassholzes ist im wesentlichen durch die während der langen Lagerungszeit im Boden vor sich gegangenen Veränderungen der morphologischen Struktur und der chemischen Zusammensetzung bestimmt [8]. Auf Grund der heutigen Kenntnisse über den Feinbau von Holz sind gewisse Hypothesen über die Auswirkungen dieser Veränderungen auf das Schwindungsverhalten entwickelt worden [8–10]. Daraus lässt sich das Problem der Nassholzkonservierung definieren und die bestehenden Methoden können nach ihrem Wirkungsmechanismus gegliedert werden.

#### *D. Das Konservierungsproblem*

Es umfasst im wesentlichen folgende zwei Punkte: 1. Entfernung des Wassers bis zur Einstellung eines Gleichgewichtes, mit der das Objekt umgebenden Atmosphäre, ohne dass dabei merkliche Veränderungen der Masse verursacht werden.

Die Ergebnisse der modernen Holzforschung zeigen, dass die erreichte Konstanz der Masse nur aufrechterhalten werden kann, wenn das erwähnte Gleichgewicht konstant, d. h. Temperatur und Feuchtigkeit der Umgebungsluft unveränderlich und innerhalb bestimmter enger Grenzen gehalten werden können.

Daraus ergibt sich die *zweite Forderung*: Das aus der Trocknung entstehende zerbrechliche Objekt muss durch Festigungsmittel mechanisch so weit verstärkt werden, dass es sein eigenes Gewicht tragen, sorgfältig manipuliert werden kann und seine Hygroskopizität derart verändert wird, dass es auf andere als die geforderten Umgebungsbedingungen nicht mit Formänderungen reagiert.

#### *E. Die Konservierungsmöglichkeiten*

##### *1. Die Entwässerung*

Möglichkeiten:

1. Einfrieren des Wassers im Holz und Entfernung durch Sublimation im Vakuum, bekanntgeworden als «Gefriertrocknungsmethode» [11–13].

2. Austausch von Wasser durch Flüssigkeiten, die beim Abkühlen erstarren und durch Sublimation im Vakuum entfernt werden (Modifikation des Gefriertrocknungsverfahrens). [7, 14, 15]

3. Ersatz des Wassers durch Flüssigkeiten, die beim Verdunsten bei normaler Temperatur und Atmosphärendruck – oder Vakuum – verdampft werden [6, 16].

## 2. Die Festigung

Da das getrocknete Holzobjekt aus den unter D. genannten Gründen meistens nicht stabil bleibt, müssen Festigungsmittel eingeführt werden. Für kleine Objekte verfügen wir heute über eine Reihe von Methoden, mit denen die bestehenden Probleme gelöst werden können.

Die Festigungsmethoden, die sich längere Zeit bewährt haben, lassen sich in 2 Gruppen fassen:

1. *Imprägnieren der äussersten Zone* mit einer Schutzschicht oder mit Wasser abstossenden Chemikalien. Auftragen von Leinöl verdünnt mit Alkohol, Glycerin/Formaldehyd-Gemische mit einem Schlussfirnis von Schellack, Leinöl/Kolophonium/Phenol-Gemische, Polyvinylalkoholglycerin, kalthärtende Epoxydharze. In den meisten Fällen kann bei diesen Methoden eine Volumenreduktion nicht vermieden werden.

2. *Füllen der grösseren Hohlräume und Kapillaren* mit einem «Stützmaterial». Das Füllen der kleinsten Hohlräume in den Zellwänden – worauf es ankäme, um jeglichen Schwund zu verhüten – gelingt nur, wenn die Moleküle des Festigungsmittels nicht zu gross sind, um in diese Hohlräume einzudringen. Diese letzte Forderung stösst insofern auf Schwierigkeiten, als a) Substanzen mit kleinen Molekülen entweder Flüssigkeiten, die unter normalen Bedingungen keine Festkörper bilden, oder hygroskopische Salze sind. b) Polymere Substanzen wie Wachse, Naturharze, Kunststoffe bei genügend kleiner Molekülgrösse dünn- bis zähflüssig, mindestens aber weiche Pasten sind. Solche Substanzen diffundieren nur sehr langsam in das Holz und ihre gleichmässige Verteilung im Innern stösst mit zunehmender Grösse der Objekte auf enorme Schwierigkeiten. Die besten Resultate werden erzielt mit den wasserlöslichen Polyäthylenglykolen [24–30, 32, 38]. Die Sorten mit niederem bis mittlerem Molekulargewicht sind weichplastisch bei normaler Temperatur und leicht hygroskopisch. Die behandelten Objekte dürfen daher nicht bei Raumfeuchtigkeit über 50% aufbewahrt werden. – Die höhermolekularen Sorten sind nicht mehr hygroskopisch, benötigen jedoch ausserordentlich lange Zeit, um das Holz gleichmässig zu durchdringen. Sie erwiesen sich bisher als das einzige Material, mit dem die verhältnismässig gut erhaltenen Nadelhölzer (besonders Eibe) konserviert werden konnten. – Die Äthermethode gehört ihrem Wesen nach in diese Kategorie.

Vorausgesetzt, dass das Holz völlig frei von eingeschwemmten Verunreinigungen (Huminstoffe<sup>1</sup>, Metallspuren) ist, sind die Polyäthylenglykole (Carbowachse) stabil und können bei genügendem Aufwand an Zeit praktisch wieder völlig herausgelöst werden. Damit behandelte Bruchstücke von Holzgegenständen können nicht ohne Vorbehandlungen durch Kleben zusammengesetzt werden. Das in der Holzoberfläche vorhandene Polyäthylenglykol muss mit Isozyanaten in eine wasserunlösliche Esterverbindung verwandelt werden [35]. Diese bildet klebfähige Flächen und reduziert ausserdem die Hygroskopizität der niedriger molekularen Sorten.

Wurde das Holz einem oxydativen Reinigungsprozess unterzogen, müssen die letzten Reste des Oxydationsmittels sorgfältig entfernt werden [1–4, 17–20].

In Polen und Russland wird die *Alaun/Glycerin-Methode* nach wie vor angewendet. Obwohl die Notwendigkeit nicht mehr besteht, könnte diese Methode, vom Standpunkt der heutigen Chemie aus, durch einige Modifikationen (z. B. Ersatz des Glycerins durch höhere Alkohole) – verbessert und ihr Anwendungsbereich vergrössert werden.

In jüngerer Zeit wurden verschiedenenorts mit gutem Erfolg – aber nur für einzelne Objekte – *thermoplastische Kunststoffe* in organischen Lösungsmitteln angewendet, teilweise in Anlehnung an das Alkoholätherverfahren des SLM [39, 40, 22, 41].

Zahlreich sind die Versuche, *kalthärtende Kondensationsharze* einzusetzen [5, 23, 42–48, 70, 71]. Als wasserlösliche Vorkondensate können sie direkt durch Austausch mit dem Wasser des nassen Hol-

<sup>1</sup> Die Untersuchungen zahlreicher Autoren lassen darauf schliessen, dass es sich bei den Stoffen, die das Nassholz an der Luft dunkel färben, um Huminsäuren, Abbauprodukte der Huminsäuren und Abbauprodukte des Lignins handelt, von denen eine ganze Reihe isoliert und als Verbindung u. a. des Phenols identifiziert wurden. Teilweise liefern sie in Gegenwart von Feuchtigkeit und Luftsauerstoff dunkle Oxydationsprodukte.

zes eingeführt und nach Zusatz eines Härters bei normaler oder erhöhter Temperatur ausgehärtet werden. Die nur in organischen Lösungsmitteln löslichen Epoxyd- und Polyesterharze erfordern die vorausgehende Entwässerung des Holzes. Sie haben – im Gegensatz zu den wasserlöslichen Typen relativ hohe Viskosität und dringen nur sehr langsam und in geringe Tiefen ein. Ausserdem erreichen sie nicht die feinsten Hohlräume. Die beobachteten Schrumpfungen sind dementsprechend hoch. Meist dunkeln sie mit dem Alter nach (Phenolformaldehydharze) oder haben von Anfang an eine ungeeignete Eigenfärbung (Melaminformaldehydharze). Sie sind irreversibel.

An wasserlöslichen Typen sind bis jetzt Harnstoffformaldehyd, Phenolformaldehyd und Melaminformaldehydharze versucht worden. Für grosse Objekte ist ihre Aushärtezeit meistens zu kurz; die Kondensationsreaktion beginnt unmittelbar nach Zusatz des Härters, dabei wächst die Teilchengrösse und vermindert die an sich schon geringe Diffusionsgeschwindigkeit. Die Zukunft wird hier noch wesentliche Verbesserungen bringen.

Interessant sind die polnischen Versuche, durch Anlegen eines äusseren *elektrischen Feldes* eine wirksamere Verteilung des Festigungsmittels im Holz zu erreichen, die als *elektrokinetische Methode* [49–53] bezeichnet wird. Die Imprägnierung der Hölzer mit wässrigen Lösungen von Natriumsilikat und Kalziumchlorid bis zur Sättigung geschieht bei gleichzeitigem Durchgang eines elektrischen Gleichstroms durch den porösen Holzkörper. Durch die Bildung von Kalziumsilikat wird das Holz gefestigt. Sie hat sich bei einfachen kapillarporösen Körpern wie Stein bewährt. Für Holz, das – je nach seinem Erhaltungszustand – kompliziertere Eigenschaften hat, sind die Resultate nicht genügend.

Alle diese Methoden beruhen auf dem physikalischen Prozess des Auffüllens des Hohlraumsystems mit einem Festkörper. Die chemische Kondensation im Falle der härtenden Harze vollzieht sich ja nicht zwischen Holzsubstanz und Imprägnierungsmittel, sondern zwischen zwei eingebrachten Komponenten.

Ausgehend von modernen holztechnologischen Verfahren müsste auch eine Änderung der hygroskopischen Eigenschaften des Holzes selbst durch chemische Modifikation der die Hygroskopizität bewirkenden Komponenten im Holz zur Stabilisierung führen [54–57]. Diese Komponenten, die Hydroxylgruppen der Zellulose, sind jedoch – je nach Abbauzustand – mehr oder weniger verschwunden, so dass der Stabilisierungseffekt sich nicht in allen Fällen im erhofften Masse auswirken kann.

Es ist zu hoffen, dass eines Tages einfach anzuwendende Prüfungsmethoden für den tatsächlichen Erhaltungszustand aller vorkommenden Nassholzobjekte und damit für die Wahl der Konservierungsmethode zur Verfügung stehen werden.

Während die Arbeiten der holztechnologischen Institute für die Verhältnisse bei rezentem Holz die Grundlagen [58–65, 66–68] für zahlreiche Stabilisierungsverfahren geliefert haben, sind ernsthaftere Studien an Nassholz vorläufig noch im Gange. Die Vorgänge beim Abbau des Holzes im Boden zeigen, dass Nassholz etwas wesentlich anderes ist [9, 69].

#### *Die Vorgänge beim Abbau des Holzes im Boden*

Der Zerfall des Holzes im Boden wird hauptsächlich durch Mikroorganismen bewirkt. Das Bodenmilieu und die Art der Mikroorganismen bestimmen den Verlauf. Da die Bakterien und Pilze ihre Nahrung durch Osmose direkt aufnehmen, können nur einfache organische Verbindungen in gelöster Form, wie Zucker, Alkohole und organische Säuren, durch ihre Zellhülle diffundieren. Alle unlöslichen Verbindungen müssen zuerst durch enzymatische Hydrolyse in Lösung überführt werden. Zellulose, Hemizellulosen und Lignin haben ganz unterschiedliche Beständigkeit gegenüber Mikroorganismen.

Zellulose als Hauptbestandteil der Zellwand wird relativ schnell zersetzt. Bei Ausschluss von Luftsauerstoff (anaerobe Bedingungen) wird die Zellulose schliesslich zu Methan oder Wasserstoff zersetzt.



Daneben entstehen Butter- und Essigsäure, Äthylalkohol, Kohlendioxyd und Wärme. Dies geschieht vor allem in Sumpfböden, See- und Flußschlamm. Wenn Luftsauerstoff zugegen ist (aerobe Bedingungen), wie in Waldböden, in der durchlüfteten Erde und an der Luft, tritt zuerst Hydrolyse und dann Bildung von Kohlendioxyd und Wasser ein. Temperatur, Feuchtigkeit und der pH-Wert<sup>2</sup> des Bodens haben einen weiteren Einfluss. Bei pH-Werten<sup>2</sup> kleiner als 6 (sauer) unter aeroben Bedingungen vermögen auch Schimmelpilze Zellulose zu zersetzen und können sogar den Vorrang vor den Bakterien haben.

Die *Hemizellulosen* werden wegen ihrer vielfältigen chemischen Natur verschieden rasch abgebaut. In der Regel werden zuerst die weniger resistenten rasch zersetzt, dann wird die Zellulose fast völlig entfernt, zurück bleiben schliesslich die resistenteren Hemizellulosen. Ihr Vorhandensein in Torf und Humus ist dafür ein Beispiel.

*Lignin*, das zu 20–30% im Holz enthalten ist, widersteht dem Abbau wesentlich länger. Seine Zersetzung durch Pilze, die an aerobe Bedingungen gebunden sind, ist bekannt. Da Pilze in anaeroben Bedingungen nicht bestehen können, muss Lignin in der Regel unzerstört bleiben. Obwohl der natürliche Ligninzerfall noch nicht aufgeklärt ist, findet man in Torfmooren Anhäufungen von Lignin; es muss also eine chemische Veränderung eintreten, die das Lignin in lösliche Form überführt. Folglich wird es mindestens teilweise aus der Holzsubstanz entfernt.

Im Holz liegen Zellulose, Hemizellulosen und Lignin nicht in frei zugänglicher Form nebeneinander vor. Man weiss heute, dass sie chemisch miteinander verbunden sind und in einer komplizierten topographischen Anordnung sich befinden.

Durch diese Umstände werden zelluloseabbauende Mikroorganismen in ihrer Tätigkeit behindert, wenn nicht durch geeignete Milieubedingungen die Ligninlöslichkeit gefördert wird und dadurch die Zellulose freigelegt wird. Die ausserordentlich grossen Unterschiede im Erhaltungszustand der Holzarten innerhalb kleiner Fundgebiete und ähnlicher Fundlagen erklären sich aus der Verflechtung aller chemischen, physikalischen und biologischen Faktoren, auf die im einzelnen hier nicht eingetreten werden kann.

Die für einige Holzarten spezifische Resistenz kann durch die bakterienhemmende Wirkung giftiger, wasserlöslicher Inhaltsstoffe der Zellen (besonders bei tropischen Hölzern) erklärt werden; ähnlich wirkt wohl ein hoher Gehalt an Gerbstoffen wie bei unserer einheimischen Eiche. Diese artspezifische Resistenz wirkt sich vor allem aus, solange das Holz sich noch über der Erde befindet – Fäulnis unter aeroben Bedingungen wird gehemmt. Unter späteren anaeroben Bedingungen in Sumpf- oder Moorboden behält solches Holz einen Vorsprung vor den übrigen Laubhölzern. Bei Nadelhölzern kann der Harzgehalt ähnlich wirken, in Verbindung natürlich mit seinen wasserabstossenden Eigenschaften.

Der Substanzverlust durch den chemischen Abbau an ungezählten topographischen Punkten hat das Verschwinden von jenen feinsten Hohlräumen, die für das Zustandekommen der Kapillarkondensation verantwortlich sind, zur Folge. Der fast völlige Abbau der Zellulose bewirkt das Verschwinden der Hydroxylgruppen, die mit dem eindringenden Wasser Wasserstoffbrücken bilden. Folglich verschwindet die Voraussetzung zur Aufnahme von Wasser durch Absorption und damit die Quellungsfähigkeit und damit auch der Quellungsdruck von einigen tausend Atmosphären, der praktisch die Erhaltung der Form gewährleistet. Deshalb schrumpft das Nassholz mit dem Trocknen an der Luft ein und kann seine Quellungsfähigkeit im extremen Fall nicht wiedergewinnen. Durch das Verschwinden der betreffenden feinsten Hohlräume hat das Holz nur mehr die Eigenschaft eines kapillarporösen Körpers (Verlust der kolloiden Eigenschaften) und ist demzufolge hauptsächlich nur noch mit frei beweglichem Wasser angefüllt, das beim Entweichen Kapillarkräfte entwickelt, die das Holz ungehindert (durch den Quellungsdruck) bis zu kümmerlichen Resten zusammenziehen.

<sup>2</sup> Der pH-Wert ist ein Mass für die Konzentration der Wasserstoffionen und gibt an, wie stark sauer bzw. alkalisch ein Milieu ist.

Über erfolgreiche Versuche, völlig getrocknete und eingeschrumpfte Holzstücke bis zum Wiedergewinn ihrer ursprünglichen Grösse und Form zu quellen, berichtet Brorson-Christensen. Dazu erhitzte er die Hölzer während einigen Tagen bei 110°C in 90prozentiger Milchsäure; er beobachtete jedoch einen grossen Substanzverlust. Unsere Versuche in dieser Richtung waren weniger befriedigend.

Das Konservierungsmittel sollte also imstande sein, in die feinsten Hohlräume einzudringen, an Stelle der abgebauten Zellulose zu treten und dort die Quellfunktionen zu übernehmen, die vorher das Wasser ausübte. Im extremen Fall der Quellungsunfähigkeit der Holzsubstanz muss das eingeführte Konservierungsmittel die notwendige Stützfunktion als Füller übernehmen. Mit zunehmender Grösse und abnehmender Durchlässigkeit der Holzgegenstände kommen nur noch niedermolekulare Substanzen in Frage. Nach den bisherigen Erfahrungen bei der Behandlung grosser Schiffsfunde [73–75, 9, 76, 78] ist für die völlige Konservierung mit Behandlungszeiten von Jahrzehnten zu rechnen.

In den Vereinigten Staaten versucht man zurzeit, monomere Kunstharze in Holz einzuführen und sie nach vollkommener Durchtränkung mittels starker Gammastrahlung zu polymerisieren [79]. Obwohl diese Versuche auf technische Anwendungszwecke zielen, versprechen sie auch neue Möglichkeiten für die Nassholzkonservierung.

In Zusammenarbeit mit einem Universitätsinstitut prüft das Konservierungsforschungslaboratorium gegenwärtig entsprechende Anwendungsmöglichkeiten auf unsere Hölzer [80].

#### BENÜTZTE LITERATUR

- [1] HERBST, C.F., *Om Bevaring af Oldsager af Traefundne Tørfemose*, Antiquarisk Tidskrift, 1858–60, (Kopenhagen 1861), 174–176.
- [2] ROSENBERG, G.H., *The Preservation of Antiquities of Organic Material*, The Museums Journal 33 (1933), 432–436.
- [3] MOSS, A.A., *Preservation of a Saxon Bronze-Bound Wooden Bucket with Iron Handle*, Museum Journal 52 (1952), 175–177.
- [4] GUSTAFSON, G., *Die Konservierung der im Vikingschiff gefundenen Altertümer*, Chem. Ztg. 37 (1913), 1599.
- [5] STOCKAR, W. VON, *Ein neues Verfahren zur Konservierung von Moorhölzern*, Nachrichten-Blatt f. D. Vorzeit 15 (1939), 145–149.
- [6] BRORSON-CHRISTENSEN, B., *Om Konservering af Mosefundne Traegenstande*, Aarborger for Nordisk Old Kyndighed og Historie (1951), 22–55.
- [7] BRORSON-CHRISTENSEN, B., *Konservering af Mosetrae ved Hjaelp af Tertiaer Butylalkohol*, Aarborger for Nordisk Old kyndighed og Historie (1956), 249–254.
- [8] MÜHLETHALER, B., *Report on the Study of Conservation of Water-Logged Wood and wet Leather*, ICOM 1965, Bibliographie Nrn. 3, 5–30.
- [9] NOAK, D., *Neue Beiträge zum Fund der Bremer Kogge*, Teil 3, S. 20–49.
- [10] HAESLINGA, F.J.M., (erscheint demnächst in Studies in Conservation, Titel noch nicht bereinigt).
- [11] ROSENQUIST, A.M., *Studies in Conservation* 4 (1959), 62–72. Teil 1.
- [12] ORGAN, R.M., *Studies in Conservation* 4 (1959), 96.
- [13] ZEIST, W. VAN, *Van Rendierjager tot Ontginmer* 11 (1957), 12–16.
- [14] ROSENQUIST, A.M., *Studies in Conservation* 4 (1959), Teil 2.
- [15] ROSENQUIST, A.M., *Ny preparering av tresakene i Osebergfundet*, Museums nytt (Oslo 1957), 112–116.
- [16] NOGID, I., *Conservation of Waterlogged Wood*, Sovetskaja Arkheologia (Moscow) 3 (1965) 277–279.
- [17] ROSENQUIST, A.M., *The Stabilizing of Wood found in the Viking Ship of Oseberg – Part. 1*, *Studies in Conservation* 4 (1959), 13–22.
- [18] HAUGE, D.T., *Konservering af tre*, Arbok 1949/50 (Oslo), 5–33.
- [19] PITTIONI, R., *Neues Verfahren der Holzpräparation*, Pro Austria Romana 2 (1952), 40–41.
- [20] MADAJSKI, S., *(Preservation Methods for Wood at the Archaeological Museum at Lodz)*, Archeologické Rozhledy 4 (1952), 442–448, 480.
- [21] GARZYNSKI, W., *The Transport and the Conservation of an Early Medieval Boat from Czarnowsko, Leborg District*, Materialy Zachodnie-Pomorskie 4 (1958), 393–397.
- [22] RUMJANCEV, E.A., *The Preservation of Wet Wood found in Archaeological Excavations*, Kratkje Soobsčeniija o dokladach i polevyh issledovanijach Instituta istorii materialnoj Kultury 72 (Moskava 1958), 96–99.
- [23] WERNER, A.E.A., *Technical Notes* 218, CIBA (ARL) Ltd. Duxford, Cambridge, England.

- [24] MORÉN, R.E., CENTERWALL, K.B.S., *The Use of Polyglycols in the Stabilizing and Preservation of Wood*, Meddeland en Fran Lunds Universitets Historiska Museum (June 1960) 176–196.
- [25] ORGAN, R.M., *Carbowax and other Materials in the Treatment of Waterlogged Palaeolithic Wood*, Studies in Conservation 4 (1959), 96–105.
- [26] ROSENQUIST, A.M., *The Stabilizing of Wood found in the Viking Ship of Oseberg*, Studies in Conservation 4 (1959), 13–21, 62–71.
- [27] STRÖMBERG, A., *The Conservation of Waterlogged Wood*, Föreningen Sveriges Sjöfartsmuseum i Stockholm, årsbok (1957/58), 47–60.
- [28] LEFÈVE, R., *Conservation Treatment with Polyethylene Glycol of a Wooden Roman Bucket Excavated at Wommel*, Bull. Institut royal du Patrimoine artistique 4 (1961), 97–108.
- [29] SEBORG, R.M., INVERARITY, R.B., *The Preservation of Old Waterlogged Wood by Treatment with Polyethylene Glycol*, Science 136 (1962), 649–650. – *Conservation of 200 Year Old Waterlogged Boats with Polyethylene Glycol*, Studies in Conservation 7 (1962), 111–119.
- [30] MO OCH DOMSJÖ, A.B., CENTERWALL, K.B.S., *Improvement in or Relating to the Preservation of Wood*, Swedish patent 157302 (1952), British patent 756685 (1956).
- [31] MÜHLETHALER, B., *Report on the Study of Conservation of Waterlogged Wood and Wet Leather*, ICOM 1965, p.A. 7.
- [32] ORGAN, R.M., *Limitations in the Use of Polyethylene Glycol*, Studies in Conservation 5 (1960), 161–162.
- [33] THUNELL, B., *On Preservation of Wood*, Statens Hantverksinstitut, Årsbok, Sweden (1961).
- [34] BIRKNER, L., BOSTRÖM, T., MORÉN, R., THUNELL, B., *Preservation of Vasa*, Skogen 48 (1961), No. 4, 66–67.
- [35] WERNER, A.E.A., *Chemistry in the Preservation of Antiquities*, Nature 184 (1959), No. 4686; 585–587.
- [36] STAMM, A.J., *Dimensional Stabilization of Wood with Carbowaxes*, Forest Products J. 6 (5), (Mai 1956), 201–204.
- [37] STAMM, A.J., *Effect of Polyethylene Glycol on the Dimensional Stability of Wood*, Forest Products J. 9 (1959), No. 10; 375–381.
- [38] GRAND, P.M., *Wood jewels from Ancient Gaul*, Art News 63 (1964) 27–29.
- [39] RUMJANCEV, E.A., *The Use of Synthetic Resins in Archaeological Excavations*, Kratkije Soobschenija 49 (1953), No. 49.
- [40] DOMASŁOWSKI, W., *Problems in the Conservation of Wood*, Materialj Zachodnio – Pomarskie (Westpomeranian Materials) 4 (1958), 398–424.
- [41] LEHMANN, J., *Conservation of Ethnographical and Archaeological Wooden Antiquities*, Ochrona Zabytkow 15 (1962), 24–33.
- [42] AUGUSTI, S., *Restauro e Conservazione degli Oggetti lignei*, Atti del VII Congresso Internazionale di Archeologia Classica, Vol. 1, 183–190, ebenfalls: Studies in Conservation 4 (1959), No. 4, 146–151.
- [43] BIEK, L., ANSTEE, I.W., CRIPPS, E.S., *A Wooden bucket restored*, Museums J. 57 (1958) 257–261.
- [44] LOSOS, L., *Strengthening of Wood Using Synthetic Resins*, Zprávy památkové péče 18 (Praha 1958), 12–21.
- [45] KETELSEN, A., *Konservierung bodenfuchter Hölzer*, Präparator 5 (1959), 31.
- [46] STAMM, A.J., SEBORG, R.M., *Minimizing wood Shrinkage and Swelling*, Ind. Eng. Chem. 28 (1936), 1164.
- [47] MÜLLER-BECK, H.J., HAAS, A., *A Method for Wood Preservation Using Arigal-C*, Studies in Conservation 5 (1960), 150–157.
- [48] CIBA AG, Basel, *Angaben betr. Ausübung der Arigal-Konservierung unter Verwendung von Arigal C und Arigal-Katalysator C*.
- [49] CEBERTOWICZ, R., JASIENSKI, D., *Elektrokinetyczna metoda petryfikacji drewna oraz mumifikacji matewki z prehistorycznego wykopaliska w Biskupinie*, Prace I Seji Nankowej Politechniki Gdanskiej (1951).
- [50] ZUROWSKI, T., *Electrokinetic Petrification of Antiquities*, Z Otchłani Wiekow 21 (1952), Nr. 4, 131–133.
- [51] ZUROWSKI, T., *Experiments on the Conservation of Wood by Electrokinetic Methods*, Ochrona Zabytkow 6 (1953), Nr. 4, 224–227.
- [52] ZUROWSKI, T., *Elektrokonservacja* (Theory of Electroconservation), Swiatowit 20 (1949), 500–507.
- [53] WIELICKA, H., *Research on Preservation of Timber from Biskupin and Gdansk Excavations*, Wiadomosci archaeologiczne 26 (1959–60), 288–296.
- [54] STAMM, A.J., BURR, H.K., KLINE, A.L., *Heat Stabilized Wood*, Forest Products Laboratory (1946, rev. 1955) Report No. 1621.
- [55] VODOZ, J., *Das Verhalten des Holzes während der Trocknung im hochfrequenten Wechselfeld*, Diss. ETH (Springer-Verlag Berlin-Göttingen-Heidelberg 1957).
- [56] RISI, J., ARSENEAU, D.F., *Dimensional Stabilization of Wood*, Forest Products J. (June 1957), 210–213.
- [57] STAMM, A.J., TARKOW, H., *Dimensional Stabilization of Wood by Formaldehyde Treatments*, U.S. Forest Products Lab. Report. – U.S. Pat. 2572070 (1951).
- [58] STAMM, A.J., *Passage of Liquids, Vapors and Dissolved Materials through Softwoods*, U.S. Dept. Agr. Techn. Bull. 929 (1946).
- [59] BURR, H.K., STAMM, A.J., *Diffusion in Wood*, J. phys. Chem. 51 (1947) 240–257.
- [60] BELER, E.A., BRIGGS, D.R., KAUFERT, F.H., *Diffusion of Dissolved Material through Wood*, J. Physical Chem. 57 (1953), 476–480.
- [61] BASHENOW, W.A., *Die Flüssigkeitsdurchlässigkeit von Holzgeweben und ihre praktische Anwendung*, Übersetzung aus dem Russischen (Akademie-Verlag, Berlin W 8, 1956).

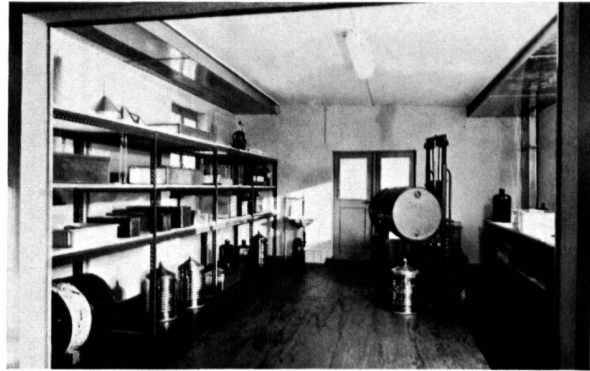
- [62] Forest Products Lab., Madison 5, Wisconsin, USA, Technical Note, No. 163.
- [63, 64] Forest Products Research, 1955, London, Processed Report, No. WP-10.
- [65] Forest Products Laboratory, Madison 5, Wisconsin, USA, *Report of Dimensional Stabilization Seminary (of Wood and Paper)*, No. 2145, (January 21-23, 1959).
- [66] STAMM, A. J., BURR, H. K., KLINE, A. A., *Ind. Eng. Chemistry* 38, 630.
- [67] UPSON, J. J., *Wood and Wood Products* 58 (1953), 36.
- [68] KENAGA, D. L., SPROULL, R. C., *Further Experiments on Dimensional Stabilization by Allylation*, *J. Forest Prod. Res. Soc.* 1 (1), 28-32.
- [69] PLENDERLEITH, J. J., *The Conservation of Antiquities and Works of Art* (London Oxford University 1956), 134-143.
- [70] TROSTJANSKAJA, E. B., TOMASCHWITSCH, G. N., SOROKINA, E. W., *Festigung und Restaurierung von Altertümern aus Holz*, Übersetzung aus dem Russischen (Moskau 1960).
- [71] LEHMANN, J., Briefl. Mitteilung (Juni 1965).
- [72] BOUTELJE, J. B., KIESSLING, H., *On water-stored Oak Timber and its Decay by Fungi and Bacteria*, *Archiv Mikrobiol.* 49 (3) (1964), 305-314.
- [73] BARKMAN, L., *Konserveringen af Wasa*, *Wasastudier* 1 (1962).
- [74] BIRKNER, L., BOSTRÖM, T., MORÉN, R., THUNELL, B., *Vasa konserveras*, *Skogen* 48 (4) (1961), 66-67.
- [75] FLIEDNER, S., *Die Bremer Kogge*, Hefte des Focke-Museums, Bremen, Nr. 2 (1964).
- [76] VAN DER HEIDE, G. D., Persönliche Mitteilung (1964).
- [77] BARKMAN, L., *The Preservation of the Wasa*, *Wasastudier* 5, statens Sjöhistoriska Museum (Stockholm, März 1965).
- [78] NOACK, D., *Der gegenwärtige Stand der Dimensionsstabilisierung von Holz und Schlussfolgerungen für die Konservierung der Bremer Kogge*, Neue Beiträge zum Fund der Bremer Kogge, Sonderdruck aus «1000 Jahre Bremer Kaufmann» (Bremisches Jahrbuch, 50. Band), Historische Gesellschaft, Bremen.
- [79] KENT, J. A., WINSTON, A., BOYLE, W. R., *Preparation of Wood-Plastics Combinations using Gamma Radiation*, U.S. Atomic Energy Commission, Division of Technical Information. Rep. ORO - 612 (1963).
- [80] DE GUICHEN, G., *Méthode de conservation des bois provenant de cités lacustres par diffusion d'un monomère et polymérisation par rayons gamma* (noch nicht veröffentlicht). EPUL (1966).

#### BILDNACHWEIS

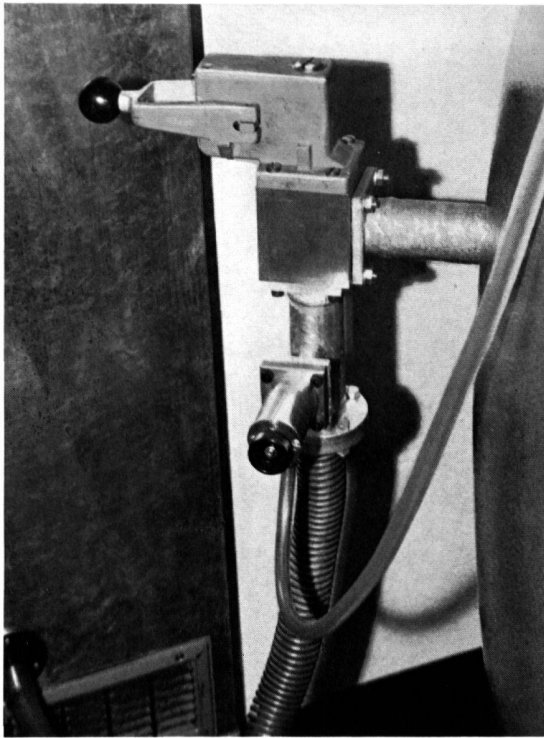
Sämtliche Photographien: Schweizerisches Landesmuseum Zürich



a



b



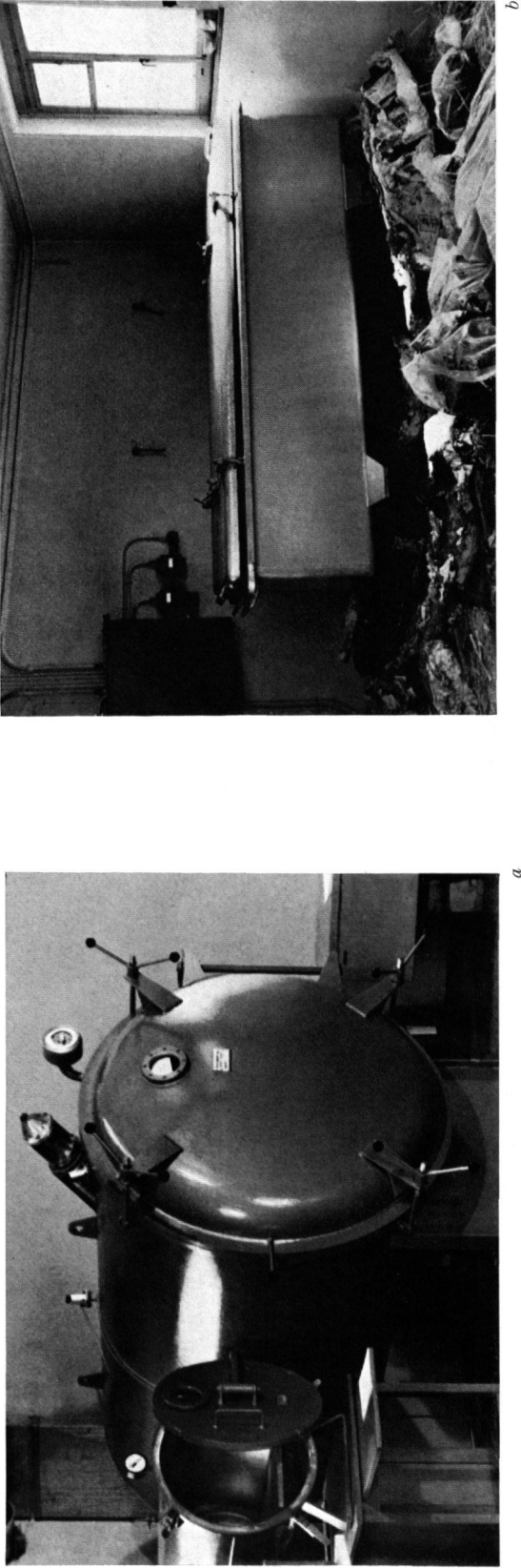
c



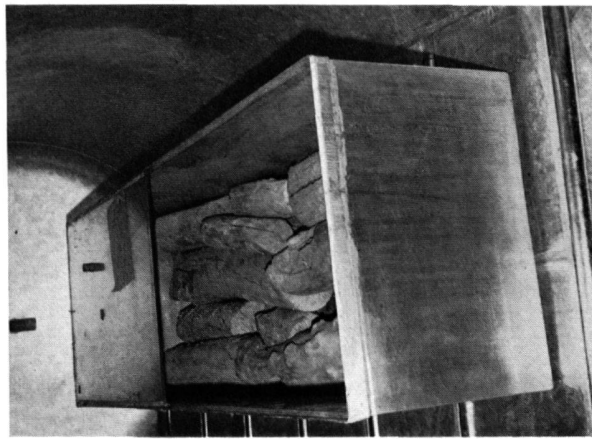
d

Tafel 38. *a* Gebäude am Stadtrand für die Nassholkonservierung. In der Mitte unter dem Dach die Ansaugöffnung für die Belüftungsanlage. *b* Innenansicht: zwei Drittel des Raumes sind für das Bleichen und die Behandlung in Alkoholbädern eingerichtet. Mitte: Hebevorrichtung für Alkoholfässer oder gefüllte Bäder. *c* Detail des Vakuumtanks. Flutventil mit Anschluss für die Evakuierung anderer Gefässe; darunter Hochvakuumpumpe. *d* Wechsel der Badflüssigkeit (Alkohol) mittels Hubstapler und Hebevorrichtung aus Polyäthylen. Oben rechts Zuluftkanal. Die Luft wird an der gegenüberliegenden Wand unten abgesaugt.

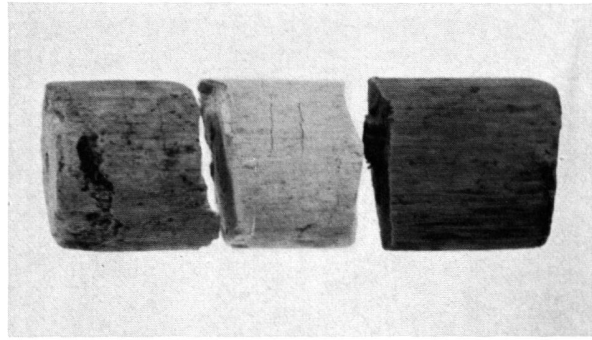
W. KRAMER UND B. MÜHLEHALER: ÜBER DIE ERFAHRUNGEN MIT DER ALKOHOLÄTHER-METHODE FÜR DIE KONSERVIERUNG VON NASSHÖLZ AM SCHWEIZERISCHEN LANDESMUSEUM



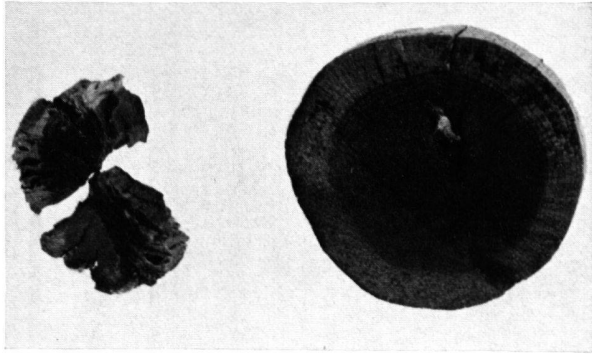
a



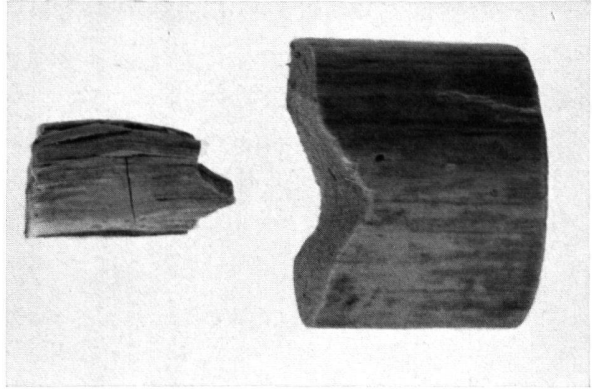
c



d



e

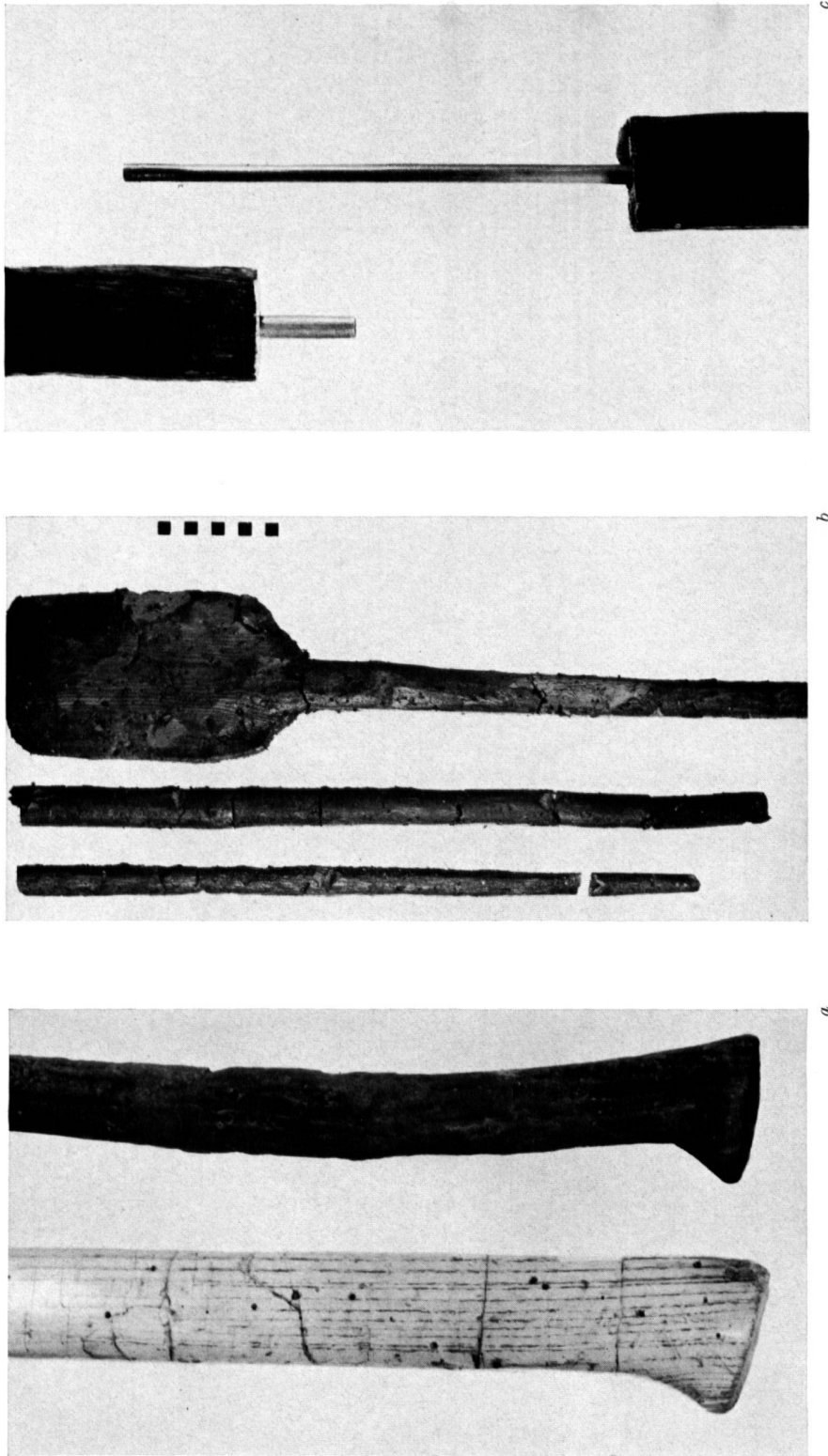


f



b

Tafel 39. a Der restliche Raum mit Schiebetürenabschluss beherbergt die Vakuumtanks für die Ätherstufe. b Aufbewahrung von Nassholz in zwei Antikorodaltanks auf Rollen; davor in Polyäthylen verpacktes Eichenholz der römischen Brücke von Cudrefin. c Innenansicht des Vakuumtanks. Behälter (auf Rollen beweglich) mit Inhalt nach der Ätherharzbehandlung. d Eschenstämchen, un bearbeitet, von unten nach oben: nass, aus Äther vakuumgetrocknet, mit Äther-Harz/lösung getränkt. Die Querrisse (neben den Klebfugen in der Abbildung Tafel 40a auch zu sehen) konnten durch die modifizierten Harzkombinationen später vermieden werden. Dabei wurde auch auf die Zwischentrocknung nach der Ätherstufe verzichtet. e Eiche nass - luftgetrocknet. f Esche nass - luftgetrocknet.



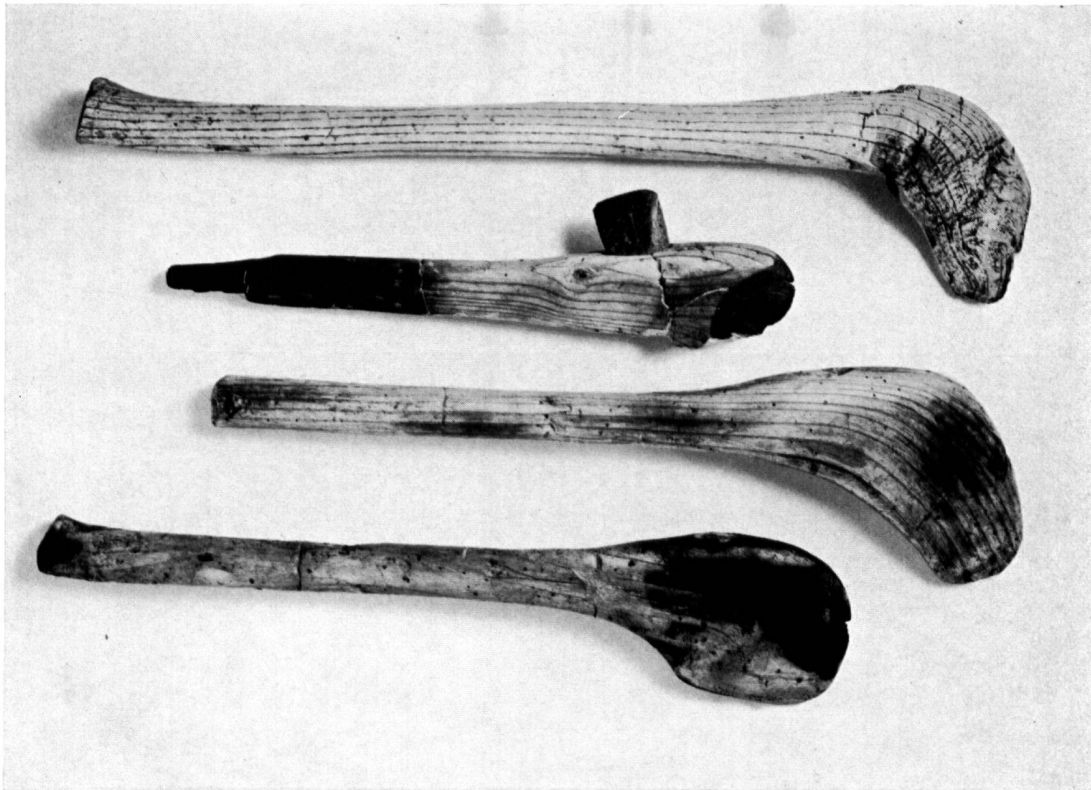
Tafel 40. *a* rechts: Beilschaft aus Esche, vor etwa 30 Jahren mit einer der Alaunmethoden erhaltenes Ergebnis. Esche bereite bei dieser Methode besonders gerne Schwierigkeiten (ohne Reinigungsvorbehandlung). – Links: Erstes Exemplar eines Beilschaftes nach der Alkohol-Äther-Methode behandelt. Trocknung im Exsikkator nach der Ätherstufe; Oberfläche mit Wachspaste behandelt. *b* Steinzeitliche Schaufel im Fundzustand (Seeuferriedlung Egolzwil 4/1964). *c* Steinzeitliche Schaufel von Tafel 40*b* und Tafel 41 vor dem Zusammenstecken.

W. KRAMER UND B. MÜHLETHALER: ÜBER DIE ERFAHRUNGEN MIT DER ALKOHOLÄTHER-METHODE FÜR DIE KONSERVIERUNG VON NASSHOLZ AM SCHWEIZERISCHEN LANDESMUSEUM

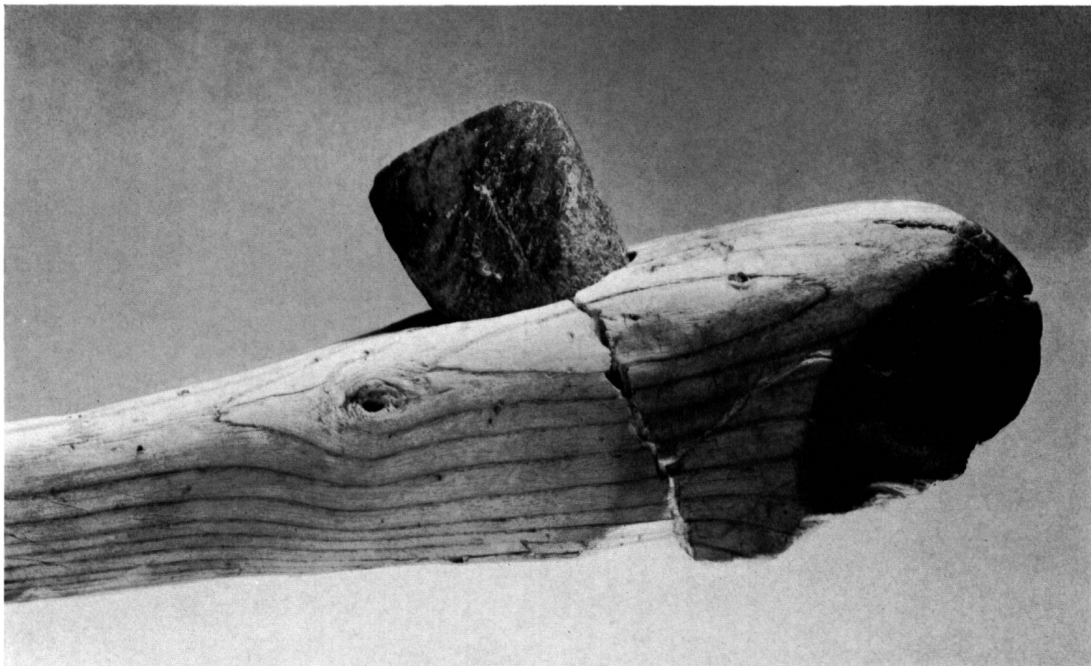


Tafel 41. Schaufel (vgl. Tafel 40*b* und *c*) in konserviertem Zustand. Die Retuschen sind noch nicht überarbeitet; die Löcher wurden im Boden durch Pflanzenwuchs verursacht.





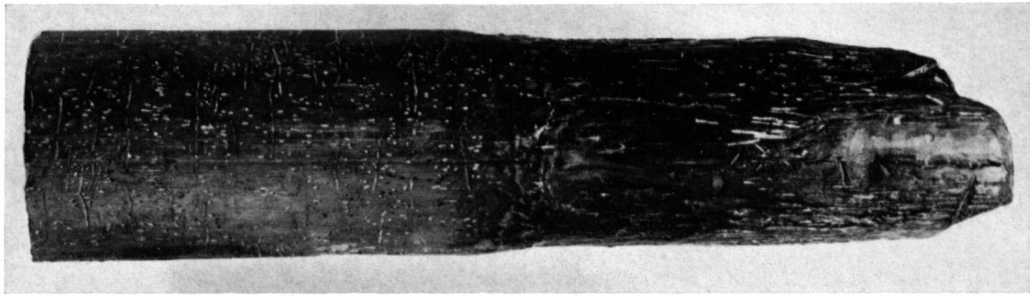
a



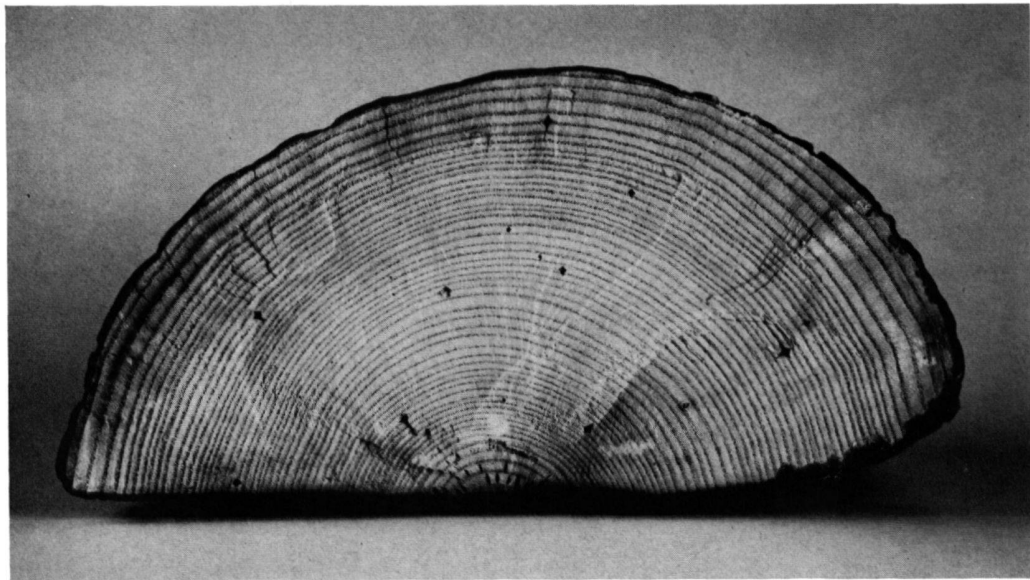
b

Tafel 42. *a* Beispiele von Axtschäften aus Eschenholz nach der Konservierung mit modifizierter Harzkombination. – Nach zehnjähriger Aufbewahrung in der Schausammlung waren keinerlei Form- und Farbänderungen feststellbar. (Steinzeitliche Seeufersiedlung Egolzwil 3/1952). *b* Detail von Tafel 42a zeigt die Erhaltung der Oberflächenmerkmale besonders deutlich (Steinzeitliche Seeufersiedlung Egolzwil 3/1952).

W. KRAMER UND B. MÜHLETHALER: ÜBER DIE ERFAHRUNGEN MIT DER ALKOHOLÄTHER-METHODE FÜR DIE KONSERVIERUNG VON NASSHOLZ AM SCHWEIZERISCHEN LANDESMUSEUM



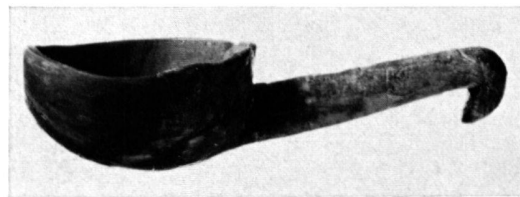
a



b



c



d

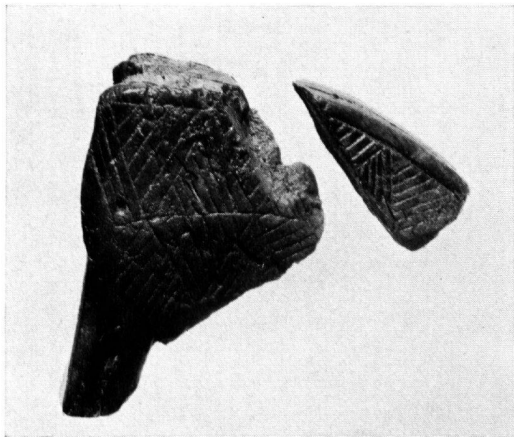
Tafel 43. a «Hälbling» aus Esche mit Fraßspuren des Eschenbastkäfers (links) und der Köcherfliege (rechts) (Steinzeitliche Seeufersiedlung Egolzwil 3/1952). b Ansicht der Bruchfläche von Tafel 43 a (frisch): der schwarze Saum am Rand zeigt die Eindringtiefe des Waxes nach der Schlussbehandlung.

Tafel 43. c Schapfe aus Ahorn, Fundzustand (Steinzeitliche Station Zürich-Rentenanstalt 1961). d Schapfe (vgl. Tafel 43 c) konserviert, zusammengefügt und ergänzt.

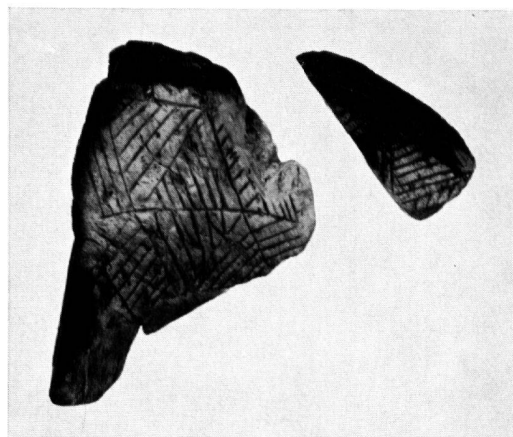
W. KRAMER UND B. MÜHLETHALER: ÜBER DIE ERFAHRUNGEN MIT DER ALKOHOLÄTHER-METHODE FÜR DIE KONSERVIERUNG VON NASSHOLZ AM SCHWEIZERISCHEN LANDESMUSEUM



a



b



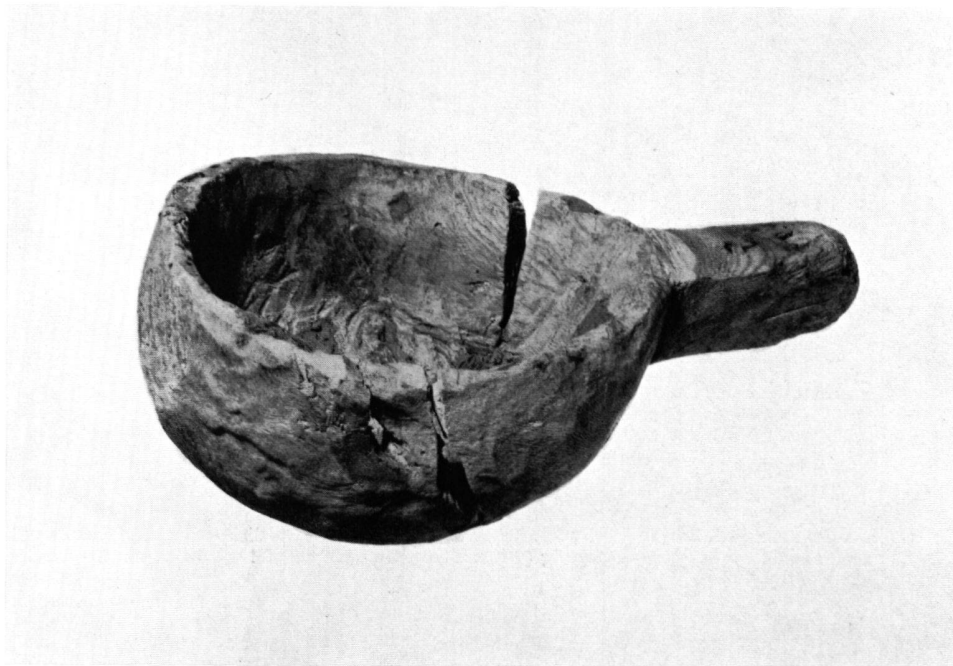
c

Tafel 44. a Halbfertiger steinzeitlicher Napf (Egolzwil 3/1952). b Spätbronzezeitliches Fragment eines unbekanntes Gerätes aus Buchenholz vor der Konservierung (Station Zug, Sumpf). c Tafel 44b nach der Konservierung.

W. KRAMER UND B. MÜHLETHALER: ÜBER DIE ERFAHRUNGEN MIT DER ALKOHOLÄTHER-METHODE FÜR DIE KONSERVIERUNG VON NASSHOLZ AM SCHWEIZERISCHEN LANDESMUSEUM



*a*



*b*

Tafel 45. *a* Halbfertiges Gefäß – möglicherweise als Ausschuss verworfen – konserviert; vor und nach dem Zusammenfügen. Die Fehlstellen bestanden bereits im Nasszustand (Steinzeitliche Seeufersiedlung Egolzwil 4/1964).

W. KRAMER UND B. MÜHLETHALER: ÜBER DIE ERFAHRUNGEN MIT DER ALKOHOLÄTHER-METHODE FÜR DIE KONSERVIERUNG VON NASSHOLZ AM SCHWEIZERISCHEN LANDESMUSEUM



a



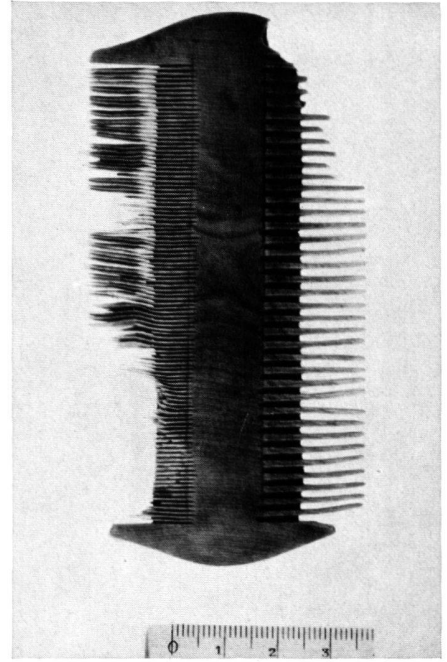
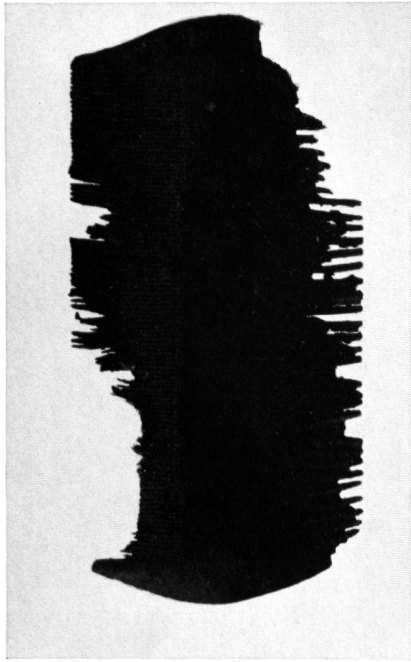
b



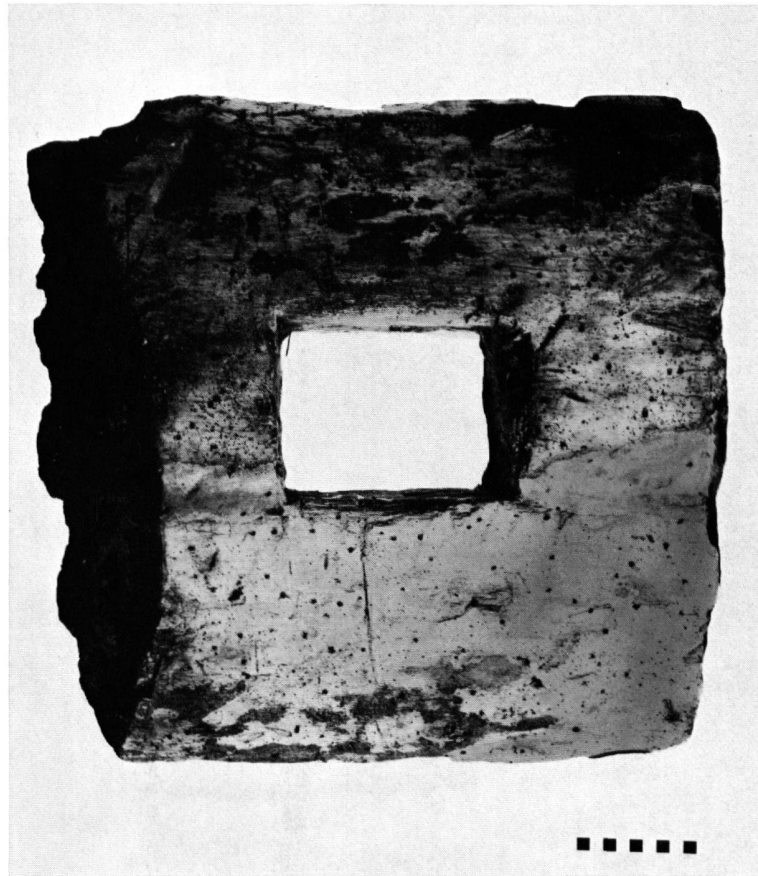
c

Tafel 46. Teil eines Kruzifixus. *a* Vor der Bergung, mit losen Polychromieresten. *b* Nach der Konservierung mit der Alkohol-Äther-Methode. *c* Fundsituation in der Kirche St. Sigismund (St-Maurice VS). Der Kruzifixus als Beigabe in einem der Gräber unter dem Chor.

W. KRAMER UND B. MÜHLETHALER: ÜBER DIE ERFAHRUNGEN MIT DER ALKOHOLÄTHER-METHODE FÜR DIE KONSERVIERUNG VON NASSHOLZ AM SCHWEIZERISCHEN LANDESMUSEUM



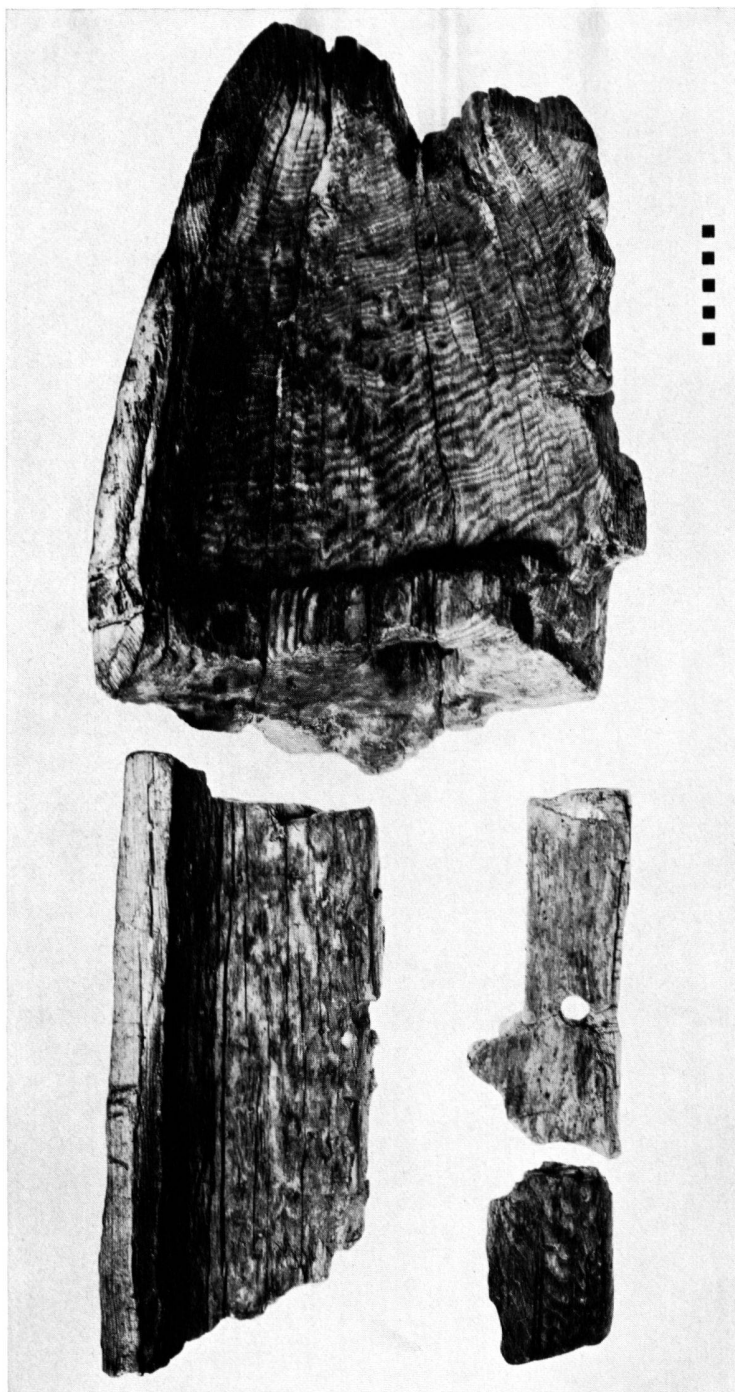
b



c

Tafel 47. *a, b* Kamm aus Buchsbaumholz aus dem Schutthügel des römischen Legionslagers Vindonissa; *a vor, b nach* der Konservierung. *c* Standplatte aus Esche (Spätbronzezeitliche Station Zug, Sumpf).

W. KRAMER UND B. MÜHLETHALER: ÜBER DIE ERFAHRUNGEN MIT DER ALKOHOLÄTHER-METHODE FÜR DIE KONSERVIERUNG VON NASSHOLZ AM SCHWEIZERISCHEN LANDESMUSEUM



Tafel 48. Teil eines Bootes aus Eschenholz (Seegräben ZH).